DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160510

渭北旱塬县域土地利用时空演变规律研究*
——以合阳县为例

刘 京 陈 涛 常庆瑞** 高义民 李粉玲

(西北农林科技大学资源环境学院/农业部西北植物营养与农业环境研究重点实验室 杨凌 712100)

摘 要 为探讨渭北旱塬区土地利用时空变化规律，本研究以陕西渭北合阳县为研究区，在 GIS 与 RS 等技术支持下，以 1990 年、2000 年 Landsat TM 影像以及 2010 年 SPOT 影像为数据源，运用地学信息图谱及土地利用转移矩阵的方法，对 1990—2000 年、2000—2010 年 2 个不同时段土地利用数量变化及类型的空间转换特征进行了分析。结果表明：(1)20 a 间合阳县耕地面积减少了 31.25 km^2，耕地主要转化为草地、林地、建设用地、水域。园地面积增加了 21.26 km^2，增幅达 146.6%，主要由耕地、草地及林地转化而来。(2)研究区土地利用变化图谱以稳定型图谱和后变型图谱为主。稳定型图谱占全区总面积的 86.66%，后变型图谱占全区总面积的 7.32%。说明研究区土地利用类型图谱变化总体比较平稳，部分变化也主要发生在 2000—2010 年间。(3)研究区 20 a 间土地利用格局呈现一定的层次性。耕地、建设用地和水域主要分布在地形变化不大或地势较低的区域；草地及林地主要集中分布于中高地形梯度内；林地和未利用地在高地形梯度内呈现优势分布。地形与人类活动是该区土地利用/覆盖变化(LUCC)的主要因素，政策导向与市场经济需求对 LUCC 也有较大的影响。该研究结果为区域土地利用空间格局的优化配置提供科学依据，为生态建设规划提供决策支持。

关键词 土地利用变化 遥感 空间格局 变化图谱 趋动因素 渭北旱塬
中图分类号： F301 **文献标识码：** A **文章编号：** 1671-3990(2016)11-1565-10

Land use dynamics in Weibei upland in China*
— A case study of Heyang County

LIU Jing, CHEN Tao, CHANG Qingrui**, GAO Yimin, LI Fenling

(College of Natural Resource & Environment, Northwest A&F University / Key Laboratory of Plant Nutrition and Agricultural Environment of Northwest, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China)

Abstract Spatial-temporal evolution of land use and landscape pattern has become a core component of research on land use and cover change. In order to understand the spatial and temporal change characteristics of land use of Weibei upland, Heyang County, we used the geo-informatics TUPU, land use transfer matrix and the Markov model to evaluate quantitative characteristics of changes and spatial transfer of the land use types in this area based on interpretation data form TM image in 1990 and 2000 and SPOT image in 2010. The driving forces of land use change were also analyzed in this research. The results showed obviously hierarchical distribution of land use types. Crop land, mining and construction land and water body were distributed in area of terrain relief under 25 m as well as slope of slope (SOS) less than 3°. During the past 20 years, crop land was the dominant land use type. Grass land and forestry land mainly distributed on middle or high terrain gradient. Forest land and unused land were the dominant land use types on the area of high terrain gradient. From 1990 to 2010, the area of arable land

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2013AA102401)和西北农林科技大学基本科研业务费专项资金(QN2011155)资助
** 通讯作者：常庆瑞，主要从事农业资源利用及农业遥感相关研究。E-mail: chqr@nwsuaf.edu.cn
刘京，主要从事 GIS 的教学及农业信息技术方面研究。E-mail: jingliu@nwsuaf.edu.cn
收稿日期：2016−06−02 接受日期：2016−08−06
* The study was supported by the National High Technology Research and Development Program (863 Program) (2013AA102401) and the Fundamental Research Funds of Northwest A&F University (QN2011155).
** Corresponding author, E-mail: chqr@nwsuaf.edu.cn
Received Jun. 2, 2016; accepted Aug. 6, 2016

decreased continuously, from 893.13 km^2 in 1990 to 861.88 km^2 in 2010, and arable land mainly transformed into grass land, forest land, mining and construction land and water body. Area of orchard increased obviously, from 14.54 km^2 in 1990 to 35.76 km^2 in 2010, mainly transformed from arable land, grass land and forest land. There had 5 land use change TUPU types: the stable type, anaphase type, prophase type, transform type and constant type. Stable type and anaphase type were the dominant types in the study area from 1990 to 2010. The areas of stable type and anaphase type accounted for more than 86% and 7% of total area, respectively. The other land use change TUPUs occupied low proportions of total area. This indicated that land use changes were gently in this area, land use changes mainly occurred during 2000 to 2010. Landform and anthropogenic activities was the main factors driving land use cover change (LUCC). Moreover, the policy guidance and market demand for LUCC also had a greater impact on LUCC. The study provided scientific theoretical basis for the dynamic optimal configurations of land use pattern and the decision support of construction of eco-environment of Heyang County.

Keywords Land use change; Remote sensing; Spatial pattern; Change TUPU; Driving factor; Weibei upland

土地作为人类生存和社会发展的重要资源，是人与环境关系的桥梁与纽带，对研究人类与环境之间的关系意义重大[1−2]。人类对地表环境的改造体现在不同的土地利用方式[3]。同时，土地利用/覆盖变化(LUCC)也导致了许多环境和社会问题，因此了解土地利用景观演变过程及其驱动因子，可以揭示土地利用变化的内在规律，探寻其对人、地关系的影响具有重要的学术价值和实际意义[4]。

LUCC 研究是某一区域较长一段时期的用地类型的演变过程，再现了陆地景观的时空动态过程[5]。目前许多学者利用遥感技术对区域土地利用空间格局及其变化进行监测[6−11]。LUCC 是人对自然环境的影响带来陆地表面变化的最显著表现形式，也是探讨人地关系的重要切入点。诸多研究表明，LUCC 涉及区域经济发展、生物多样性、环境质量、土壤、水文及水资源等所有与可持续发展相关的问题，现已成为全球变化研究关注的焦点与热点[12−16]。区域 LUCC 的研究，有从信息提取方法上，利用不同方法处理遥感影像，以人机交互的方式进行土地利用变化信息的提取[17−19]；有从变化分析层面，利用 GIS 技术对区域长期的土地利用时空动态变化及驱动力分析[20−23]；从土地持续利用及生态环境评价来看，学者对不同尺度上或不同地貌区的土地利用变化或土地利用生态风险进行了评价，为区域规划提供科学依据[24−27]。因为区位差异导致区域土地利用类型相互转换的驱动力不同，不同地区相同的驱动因子对土地利用类型转换的影响程度也不一样。

陕西合阳县地处渭北旱塬区，关中平原的东北部，是陕西农业生产的主要基地。自从 20 世纪 90 年代以来，该区域经济与社会都取得了飞速的发展，然而，不合理的资源利用给环境带来了巨大的压力。本文以合阳县为研究区，在遥感与 GIS 的支持下，选取 1990 年和 2000 年 Landsat TM 及 2010 年 SPOT 5 遥感影像，解译后获得研究区土地利用现状数据，运用土地利用转换矩阵及信息转换图谱等方法，对比分析研究区近 20 a 来县域 LUCC 的时空变化特征及演变规律，以期为该区优化土地利用变化监测、土地整理及管理提供科学依据和参考。

1 研究区概况

合阳县位于东经 109°58′~110°25′，北纬 34°59′~35°26′，地处陕西省关中平原东北部，渭北旱塬东部，东临黄河与山西省临猗县相望，西隔大峪河与澄城县毗邻，北依梁山与黄龙县、韩城市相连，南至铁镰山与大荔县、澄城县接壤，如图 1 所示。研究区平均海拔为 721 m，年平均气温 11.5 ℃，降雨量为 553 mm，昼夜温差大。研究区呈阶梯地形，自东南向西北逐渐升高，海拔在 335~1 543 m，南北长 41.8 km，东西宽 35.6 km，总面积 1 328.71 km^2。地貌类型依次为河谷阶地、黄土台塬和低中山。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据源及数据处理

研究区基础数据包括 1990 年 Landsat TM 和 2000 年 ETM$^+$多波段影像及 2010 年的 SPOT5 多波段卫星影像。其中前两期遥感影像空间分辨率为 30 m×30 m，波段为 4、3、2(RGB)组合，为了避免因季节不同而导致的植被类型的差异，选取相同季节甚至相同月份的遥感图像进行分析。因此，本研究中利用了两景 1990 年 7 月的影像，两景 2000 年 5 月的影像和两景 2010 年 5 月的影像。购买研究区 1∶5 万地形图，扫描并数字化后生成 DEM，用于后续的分析。

利用 ERDAS 9.3 软件将 1990 年的 TM 和 2000 年 ETM$^+$单波段影像融合得到多波段的影像以及 2010 年 SPOT5 多波段遥感影像。将 3 期各两景影像拼接、投影，并以 1∶1 万地形图为基础，采集地面控制点 30 个，采用多项式法对图像进行空间校正，配准

误差控制在半个像元以内。利用合阳县行政边界矢量图对影像进行裁剪，得到研究区的 3 个时相的多波段影像，对影像进行特征因素提取的图像增强处理。

根据国家《土地利用现状调查技术规程》，利用 ERDAS 和 ArcGIS 软件结合野外实地调查，依据国家土地分类标准划分土地利用类型，根据分析精度要求，对研究区土地类型进行归并处理，从高级到低级逐级划分，将研究区土地类型划分为耕地、林地、草地、建设用地、果园、水域和未利用地 7 种类型。本研究采用目视解译方法对 3 期影像进行解译，结合野外实地考察、研究区历史统计资料及第 2 次土地调查数据，解译结果与之进行比较，基本符合实际，结果如图 2 所示。

2.2　研究方法

2.2.1　土地利用空间转换

土地利用状态转移矩阵全面而又具体地描述了区域土地利用变化的结构特征，反映出人类活动所引导的土地利用变化方向。该方法来源于系统分析中对系统状态与状态转移的定量描述，其反映在一定时间间隔下，一个亚稳定系统从 T 时刻向 T+1 时刻状态转化的过程，从而可以更好地揭示土地利用格局的时空演化过程[28]，其数学表达形式为:

$$\boldsymbol{S}_{ij}=\begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中: $\boldsymbol{S}_{ij}$ 为研究初期与研究末期的土地利用状态，n 为土地利用的类型数。

目前，常用的土地利用状态转移矩阵中向量可以是土地利用类型面积，也可以是初期土地利用类型向末期土地利用类型转化的概率，称为 Markov 转移概率矩阵[29]。研究中采用前者进行合阳县土地利用类型转移分析。

2.2.2　土地利用变化图谱分析

通过地理信息的空间分析模块的地图代数功能，获得研究区 1990—2010 年土地利用变化信息图谱，实现研究区土地利用空间格局及其演变过程的有效信息集合。根据研究区土地利用图谱单元的变化特征，将其概括为 5 种类型的图谱变化模式[30]：土地利用从初始年份到终止年份始终无变化，称为稳定型图谱；土地利用只在 1990—2000 年间变化，称为前变型图谱；土地利用只在 2000—2010 年间变化的称为后变型图谱；土地利用类型从某一种方式变为另一方式后再变回初始时的利用方式称为过渡型图谱；土地利用类型在两个阶段都发生变化的称为连续变化型图谱。

2.2.3　土地利用的地形梯度分析

本研究综合考虑研究区地形因子对土地利用的影响程度，利用地形起伏度、坡度变率及坡向分级分析地形对土地利用空间格局演变的影响[31]。地形起伏度是描述区域地形特征的一个重要指标，可以从宏观方面定量描述区域地形起伏特征，是区域内海拔极值之差，其从多个方面影响土地利用方式景观结构，如可达性、土壤类型、水分、温度等对区域土地利用景观格局的影响。地面坡度变率是地面坡度在微分空间的变化率，是对地面坡度值再次求算坡度，反映了地形剖面曲率信息。地面坡度变率主要是从影响耕作方式、水分及养分元素的再分布等方面对土地利用方式的影响；坡向是影响微地形地面接受阳光及太阳辐射重新分配的重要因子之一。不同的坡向接收太阳辐射的程度是不同的，主要从土壤类型、温度、能量的再分布方面影响作物生长适宜性，对山地生态具有重要作用。

基于地形梯度等级划分，选取土地利用空间格局的演变过程地学信息图谱，结合土地利用变化强度，分析研究区不同地形梯度下土地空间格局变化的特征。基于研究区实际情况，对地形因子进行分级(表 1)。将各地形因子，运用 ArcGIS 10.2 栅格数据重分类功能将其分级并计算各级别面积，栅格单元统一为 30 m×30 m。

分布指数可以反映土地利用类型结构变化或各图谱类型在不同地形梯度上的分布特征[31]，公式为:

$$D_{\mathrm{I}}=(A_{ij}/A_i)/(A_j/T_{\mathrm{A}}) \tag{2}$$

式中: D_{I} 为分布指数，i 为第 i 种图谱的类型，j 为第 j 级地形，A_i、A_{ij} 分别表示第 i 种土地类型的总面积和在 j 地形区的分布面积，A_j 为第 j 级地形区的土地总面积，T_{A} 为研究区总面积。若 D_{I} 值大于 1，该土地利用图谱就呈现出优势，D_{I} 值越大，优势度越高；若 D_{I} 值小于 1，则呈现劣势分布，值越小，优势度越低。

3　土地利用格局时空演变分析

3.1　土地利用类型转换分析

由表 2、3 可以看出: 1990 年到 2000 年以来，从研究区各种用地类型的转化方向来看，各种土地类型之间的转化比较复杂。耕地面积减少了 23.63 km^2，减少幅度为原来耕地面积的 2.65%。随着种植经济林效益的增加，果园的面积增加幅度最大，10 a 增加了 8.32 km^2，增幅达 57.22%，果园的面积变化主要是由耕地转化而来，这是由于农业结构调整，经济利益驱动的结果；水域面积增加 2.34 km^2，增幅达

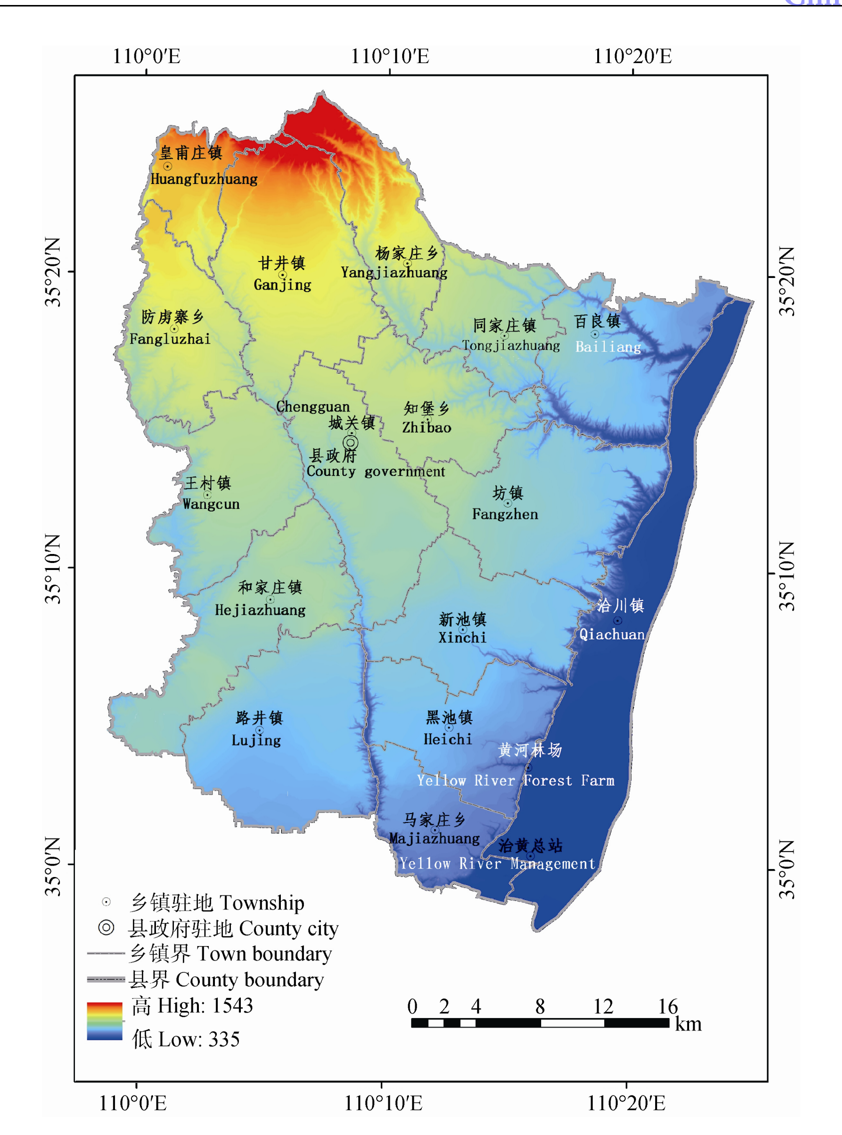


图 1 研究区示意图

Fig. 1 The location of the study area of Heyang County

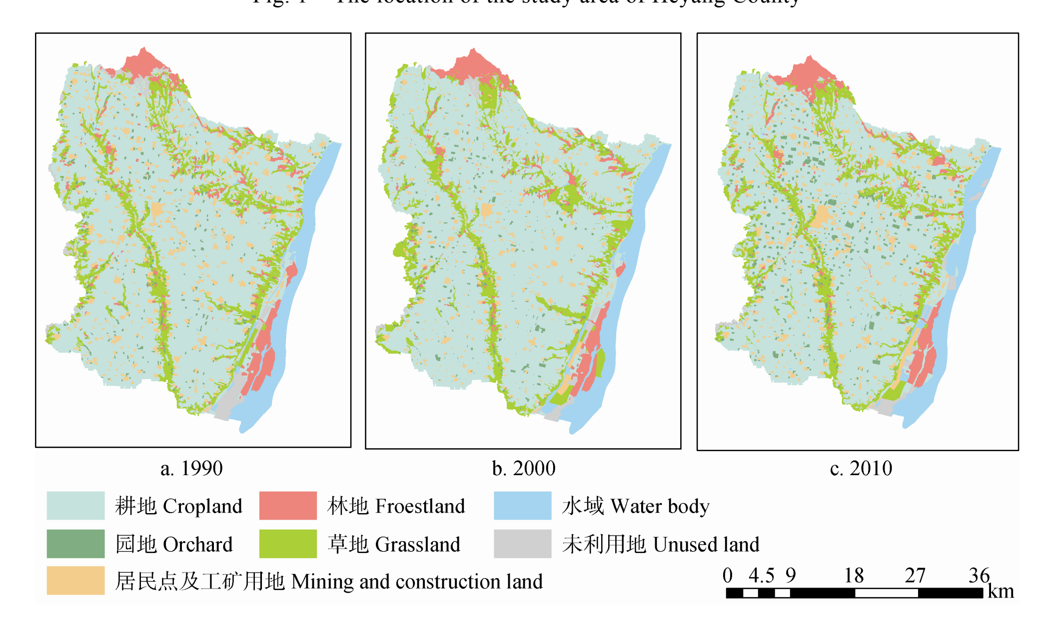


图 2 合阳县 1990—2010 年土地利用现状图

Fig. 2 Land use from 1990 to 2010 in Heyang County

表 1　各地形因子分级及面积比例

Table 1　Classification and area proportion of landform factor

	分级 Classification	面积比例 Area proportion (%)
地形起伏度 Landform relief (m)	<25	57.95
	25~50	10.57
	50~100	19.01
	100~150	9.11
	>150	3.36
坡度变率 Slope change rate (°)	<1	66.89
	1~3	15.08
	3~5	9.11
	5~8	6.39
	>8	2.54
坡向 Aspect	阳坡　Sunny slope	57.03
	半阳坡　Semi-sunny slope	24.60
	半阴坡　Semi-shady slope	12.81
	阴坡　Shady slope	5.56

2.51%; 未利用地面积减少 11.34 km^2, 减幅面积达 38.91%; 建设用地面积增加 17.71 km^2, 增幅为 26.05%, 主要由于人口增加、居民生活水平的提高以及部分工业产业的发展, 大量的耕地转化为建设用地; 由于部分耕地、林地及未利用地转化为草地, 草地面积增加 9.89 km^2, 增幅为 1990 年草地面积的 6.04%; 林地减少 3.28 km^2, 减幅为 4.94%。

2000—2010 年, 10 a 间林地数量净增加了 4.16 km^2 (见表 2、表 4), 增加的来源主要是耕地、草地和未利用地, 可能有两个因素: 一是由于政府的行政决策行为导致土地利用方式和程度的变化, 例如 1998 年开始的退耕还林还草工程等。二是农业产业结构向高效益的方向发展, 例如部分坡耕地改种经济林致林地面积增加; 耕地面积略有减少, 从 869.50 km^2 减少到 861.88 km^2, 减少幅度为 0.88%; 水域面积减少了 6.25 km^2, 减少幅度达 6.53%; 园地面积增加了 12.89 km^2, 增加幅度达 56.39%; 未利用地减少了 0.23 km^2, 变化不大; 草地面积略有减少, 比 2000 年草地面积减少 2.76%。同时, 由于人口压力增大, 建设用地的面积持续增加了 1.86 km^2, 增幅为 2.17%, 这与人口与经济持续增长有关。

表 2　合阳县 **1990** 年、**2000** 年和 **2010** 年土地类型面积及所占比例变化

Table 2　Areas and percentages of different land use types in 1990, 2000 and 2010 in Heyang County

土地类型 Land use type	1990		2000		1990–2000		2010		2000–2010	
	面积 Area (km^2)	比例 Ratio (%)	面积 Area (km^2)	比例 Ratio (%)	面积变化 Area change (km^2)	变化幅度 Change range (%)	面积 Area (km^2)	比例 Ratio (%)	面积变化 Area change (km^2)	变化幅度 Change range (%)
草地　Grass land	163.88	12.33	173.77	13.08	9.89	6.04	168.97	12.72	–4.80	–2.76
耕地　Crop land	893.13	67.22	869.50	65.44	–23.63	–2.65	861.88	64.87	–7.62	–0.88
建设用地　Construction land	67.96	5.12	85.67	6.45	17.71	26.05	87.53	6.59	1.86	2.17
林地　Forest land	66.54	5.01	63.26	4.76	–3.28	–4.94	67.41	5.07	4.16	6.57
水域　Water body	93.49	7.04	95.83	7.21	2.34	2.51	89.58	6.74	–6.25	–6.53
未利用地　Unused land	29.16	2.19	17.81	1.34	–11.34	–38.91	17.58	1.32	–0.23	–1.30
园地　Orchard	14.54	1.09	22.86	1.72	8.32	57.22	35.76	2.69	12.89	56.39

"–"表示土地利用类型面积减少。"–" means area decrease of land use type.

表 3　**1990—2000** 年合阳县土地利用转移矩阵

Table 3　Transfer matrix of land use types from 1990 to 2000 in Heyang County　　km^2

2000 年 Year 2000	1990 年　Year 1990							2000 年总计 Sum in 2000
	草地 Grass land	耕地 Crop land	建设用地 Construction land	林地 Forest land	水域 Water body	未利用地 Unused land	园地 Orchard	
草地　Grass land	161.82	3.50	0	3.86	0	4.59	0	173.77
耕地　Crop land	0.13	865.81	0.19	0	0	3.09	0.28	869.50
建设用地　Construction land	1.93	13.85	67.77	0	0.30	1.79	0.04	85.66
林地　Forest land	0	0.46	0	62.68	0	0.11	0	63.25
水域　Water body	0.01	0.87	0	0	93.19	1.76	0	95.83
未利用地　Unused land	0	0	0	0	0	17.81	0	17.81
园地　Orchard	0	8.64	0	0	0	0	14.23	22.86
1990 年总计　Sum in1990	163.88	893.13	67.96	66.54	93.49	29.16	14.54	1 328.71

表 4 2000—2010 年合阳县土地利用转移矩阵
Table 4 Transfer matrix of land use types from 2000 to 2010 in Heyang County km²

2010 年 Year 2010	2010 年 Year 2010							2010 年总计 Sum in 2010
	草地 Grass land	耕地 Crop land	建设用地 Construction land	林地 Forest land	水域 Water body	未利用地 Unused land	园地 Orchard	
草地 Grassland	149.60	13.01	1.28	3.27	0.39	0.66	0.76	168.97
耕地 Crop land	15.24	823.20	9.95	3.78	4.67	0.64	4.41	861.88
建设用地 Construction land	1.35	9.52	73.66	0.10	2.53	0.14	0.22	87.53
林地 Forest land	5.55	3.48	0.11	51.46	0.39	6.24	0.18	67.41
水域 Water body	0.37	2.76	0.31	1.75	81.40	3.00	0.00	89.58
未利用地 Unused land	0.16	2.67	0.05	1.12	6.45	7.15	0.00	17.58
园地 Orchard	1.49	14.88	0.31	1.78	0.00	0	17.30	35.76
2000 年总计 Sum in 2000	173.77	869.50	85.67	63.26	95.83	17.81	22.86	1 328.71

3.2 土地利用变化图谱分析

土地利用变化图谱能较好地反映土地利用在各个阶段的变化过程。运用 ArcGIS 10.2 软件的空间分析功能，提取 1990—2010 年研究区土地利用变化图谱信息(图 3)，分析研究区土地利用变化过程。

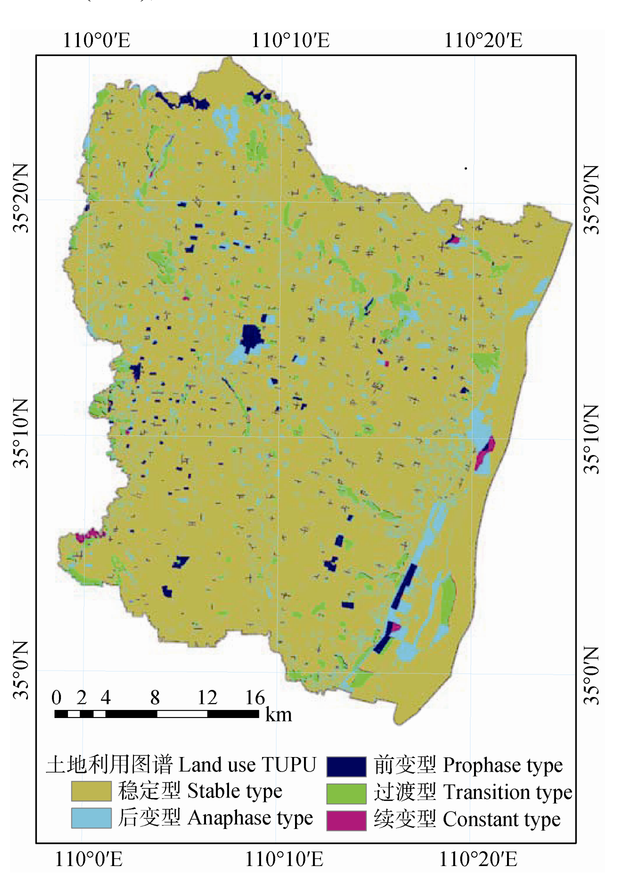


图 3 1990—2010 年研究区不同土地利用变化特征图
Fig. 3 Map of changes characteristics of different land use types from 1990 to 2010

研究区土地利用图谱中稳定型面积为 1 151.46 km²，占该区面积的 86.66%，主要表现为"耕地–耕地–耕地"、"草地–草地–草地"的土地利用变化模式，研究区土地利用类型以耕地与草地为主，占该模式总面积的近 82%；后变型图谱次之，其面积为 97.29 km²，占该区面积的 7.32%；前变型面积为 29.75 km²，占该区域面积 2.24%；过渡型面积为 45.67 km²，占该区面积的 3.44%；续变型面积为 4.48 km²，占该区面积的 0.34%。由以上数据可以看出研究区内 20 a 间土地利用变化比较平稳，与 1990—2000 年相比，2000—2010 年土地利用变化相对较强烈。结果表明，研究区土地利用结构主要是农业为主，1990—2000 年由于区域经济发展，人地矛盾比较突出，部分草地转化为耕地，部分耕地转化为建设用地。后变型图谱面积是前变型图谱面积的 3 倍，说明 2000 年后人类活动相对比较频繁，由于人口的迅速增加，导致大量耕地被占用为建设用地，同时人类为了追逐经济利益而经常改变土地利用方式以适应市场需求。

3.3 土地利用结构变化的地形梯度分析

3.3.1 地形起伏度对土地利用结构变化的影响

研究区总体地形比较平坦，地形起伏度<25 m 的梯度面积占研究区总面积的 57%以上。该区土地利用结构在不同地形起伏度有明显的差异(如表 5)。耕地及建设用地重要集中在地形起伏度 100 m 以下地区。在地形起伏度大于 100 m 的梯度内有林地及草地呈现优势分布区；1990—2010 年间草地及林地的优势度在大于 100 m 梯度上呈现增大趋势，而起伏度梯度在小于 100 m 范围内呈现不变或减少趋势。耕地、水域面积变化不大，而未利用地在地形起伏度>100 m 梯度上优势呈现减少的分布趋势，说明研究区山地自 1990 年以来有一定程度的开发和利用。研究区耕地、建设用地、水域等所占面积比例随着地形起伏度的增加而减少，而林地、草地及未利用地所占面积比例随着地形起伏度的增加而增加。

表 5　1990—2010 年不同地形起伏度的土地利用类型分布特征

Table 5　Distribution characteristics of land use types on differenct landform relief gradients in 1990—2010

起伏度分级 Classification of landform relief (m)	分布指数 Distribution index													
	耕地 Cropland		园地 Orchard		林地 Froestland		草地 Grass land		建设用地 Construction land		水域 Water body		未利用地 Unused land	
	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010
0~25	1.14	1.14	0.80	1.04	0.70	0.58	0.09	0.07	1.00	1.07	1.54	1.58	1.00	1.33
25~50	1.19	1.19	0.82	0.97	0.21	0.22	0.58	0.58	1.68	1.50	0.23	0.23	0.34	0.41
50~100	0.84	0.83	1.53	1.16	0.98	1.04	2.31	2.34	1.03	0.93	0.22	0.15	0.52	0.61
100~150	0.51	0.53	1.46	0.75	1.78	2.00	3.80	3.87	0.46	0.41	0.23	0.14	1.67	0.62
>150	0.32	0.32	0.65	0.25	6.35	7.49	2.65	2.71	0.23	0.29	0.65	0.55	3.82	0.36
起伏度分级 Classification of landform relief (m)	面积比例 Area proportion (%)													
	耕地 Cropland		园地 Orchard		林地 Froestland		草地 Grass land		建设用地 Construction land		水域 Water body		未利用地 Unused land	
	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010
0~25	65.75	65.80	46.47	59.88	40.69	33.55	5.49	4.08	57.71	61.85	89.03	91.43	57.86	77.06
25~50	12.41	12.37	8.54	10.09	2.22	2.27	6.08	6.05	17.54	15.65	2.37	2.41	3.52	4.28
50~100	16.02	15.86	29.23	22.17	18.75	19.91	44.10	44.68	19.68	17.68	4.24	2.93	9.96	11.67
100~150	4.73	4.87	13.52	6.98	16.47	18.51	35.20	35.86	4.26	3.82	2.11	1.33	15.50	5.74
>150	1.08	1.10	2.24	0.87	21.87	25.77	9.13	9.33	0.80	1.01	2.24	1.90	13.16	1.25

3.3.2　坡度变率对土地利用结构变化的影响

坡度变率对区域土地利用结构具有重要影响。研究区土地利用类型随着坡度变率梯度的变化而差异明显(表 6)。研究区主要以坡度变率为 0°~3°为主; 除了草地、林地及园地以外, 其他土地利用方式在 0°~3°范围内呈现优势分布, 而草地、林地在坡度变率 3°以上具体明显的优势分布。除了草地以外, 研究区其他各类土地利用方式都随着坡度变率的增加面积呈现减少趋势。耕地在这 20 a 间在各级梯度内没有明显变化, 而园地及水域面积在 0°~1°梯度范围内有增加趋势, 林地及未利用地在 0°~1°范围内分布优势有明显减少的趋势, 在 3°以上梯度上的分布有明显的增加。区域坡度变率较大, 人类经营土地过程中存在着较大的障碍, 故人类活动大部分只在坡度变率较小的区域进行。另一方面, 国家自实施"山川秀美工程"以来, 退耕还林减少水土流失, 保护生态环境, 使坡度较大的土地利用方式基本保持林草地, 人类活动集中在坡度变化不大的区域。

3.3.3　坡向对土地利用结构变化的影响

研究区基本上没有平坡分布, 阳坡及半阳坡面积超过该区总面积的 80%以上。该区土地利用结构变化的坡向梯度差异较明显(表 7)。耕地、建设用地主要分布在阳坡或半阳坡, 呈现优势分布; 草地、林地、水域及未利用地在阴坡、半阴坡梯度范围内呈现优势分布。1990—2010 年耕地及水域面积各坡向梯度内变化不大, 在阴坡梯度范围内园地、林地的优势度略有减少, 而草地略有增加。未利用地在阳坡的优势度减少, 但在半阳坡、半阴坡及阴坡优势度略有增加, 尤其是在阴坡梯度内增加明显。

4　讨论与结论

研究区农业资源丰富, 地势平坦, 土壤类型多样, 适宜耕种, 耕地是全区主要的土地利用方式; 但由于经济利益和社会发展的需求, 耕地与未利用地面积逐年减少。随着人口增长及经济发展需求, 果园、建设用地面积增加幅度较大; 草地与水域面积持续减少, 尤其是草地面积减少幅度较大, 水域面积减少, 但幅度较小。

影响土地利用变化的因素主要包括社会经济和自然等多种因素, 其中社会经济因素包括经济增长、人口增加、技术进步、社会发展、人类活动导向等, 社会经济的发展改变了各土地利用的结构、方式、数量和程度, 是土地利用格局时空演变的原动力[32]。自然因素包括地形地貌、环境、气候和自然灾害等因子, 但人类活动是引起 LUCC 最活跃最重要的因素[33]。研究区人口 20 a 间从 39.8 万人增加到了 43.6 万人, 增加了 9.5%。该区耕地、草地及未利用地的减少, 果园、建设用地等的大量增加, 说明人口增加及人类活动与 LUCC 密不可分。另一方面, 土地利用结构模式是在一定的经济发展阶段和政策环境下形成的, 政策导向对 LUCC 产生的作用不容忽视。从研究区域 20 a 的土地利用格局演变来看, 政策因素对林地、耕地、果园及建设用地等的变化起着直接作用。林地、牧草地变化主要受国家生态环

表 6 1990—2010 年不同坡度变化的土地利用类型分布特征

Table 6 Distribution characteristics of land use types on differenct slope change rates in 1990–2010

坡度变率分级 Classification of slope change rate (°)	耕地 Cropland 1990	耕地 Cropland 2010	园地 Orchard 1990	园地 Orchard 2010	林地 Froestland 1990	林地 Froestland 2010	草地 Grass land 1990	草地 Grass land 2010	建设用地 Construction land 1990	建设用地 Construction land 2010	水域 Water body 1990	水域 Water body 2010	未利用地 Unused land 1990	未利用地 Unused land 2010
分布指数 Distribution index														
0~1	1.14	1.14	0.77	1.00	0.66	0.56	0.17	0.15	1.11	1.15	1.37	1.40	0.94	0.81
1~3	0.86	0.86	1.53	1.11	1.15	1.29	2.03	2.07	1.06	0.96	0.27	0.17	0.89	0.70
3~5	0.66	0.66	1.51	1.00	1.80	2.00	2.97	3.01	0.68	0.59	0.24	0.18	1.23	1.64
5~8	0.57	0.58	1.45	0.85	2.25	2.55	3.32	3.35	0.44	0.40	0.27	0.26	1.38	1.40
>8	0.43	0.43	1.05	0.69	3.14	3.35	3.89	4.00	0.24	0.20	0.12	0.11	1.43	1.67
面积比例 Area proportion (%)														
0~1	76.28	76.24	51.20	67.02	43.88	37.58	11.20	9.85	74.39	77.11	91.68	93.85	62.89	55.95
1~3	12.98	12.96	23.09	16.72	17.39	19.40	30.67	31.19	15.97	14.48	4.08	2.57	13.42	10.53
3~5	6.00	6.03	13.78	9.07	16.37	18.18	27.02	27.40	6.21	5.34	2.22	1.66	11.24	15.85
5~8	3.64	3.68	9.28	5.43	14.38	16.33	21.24	21.41	2.82	2.55	1.72	1.63	8.84	12.25
>8	1.10	1.09	2.66	1.76	7.97	8.50	9.87	10.15	0.61	0.51	0.30	0.29	3.62	5.42

表 7 1990—2010 年不同坡度变化的土地利用类型分布特征

Table 7 Distribution characteristics of land use types on differenct slope change rate gradient in 1990–2010

坡向分级 Classification of aspect	耕地 Cropland 1990	耕地 Cropland 2010	园地 Orchard 1990	园地 Orchard 2010	林地 Froestland 1990	林地 Froestland 2010	草地 Grass land 1990	草地 Grass land 2010	建设用地 Construction land 1990	建设用地 Construction land 2010	水域 Water body 1990	水域 Water body 2010	未利用地 Unused land 1990	未利用地 Unused land 2010
分布指数 Distribution index														
阳坡 Sunny slope	1.10	1.10	1.00	1.04	0.63	0.70	0.71	0.69	1.14	1.09	0.77	0.76	0.86	0.66
半阳坡 Semi-sunny slope	0.90	0.91	0.85	0.90	1.52	1.43	1.28	1.29	0.89	0.85	1.25	1.18	0.52	0.77
半阴坡 Semi-shady slope	0.84	0.81	1.20	1.00	1.31	1.20	1.40	1.43	0.75	1.02	1.36	1.49	2.58	2.64
阴坡 Shady slope	0.76	0.73	1.19	1.03	1.83	1.70	1.83	1.90	0.63	0.68	1.42	1.51	0.98	1.68
面积比例 Area proportion (%)														
阳坡 Sunny slope	62.80	63.01	57.04	59.22	35.76	40.04	40.29	39.45	65.04	62.17	43.85	43.36	48.81	37.89
半阳坡 Semi-sunny slope	22.25	22.50	20.93	22.21	37.37	35.09	31.53	31.67	21.91	21.01	30.86	29.14	12.75	18.97
半阴坡 Semi-shady slope	10.71	10.41	15.42	12.85	16.72	15.41	17.99	18.32	9.55	13.06	17.42	19.10	33.01	33.77
阴坡 Shady slope	4.23	4.08	6.60	5.72	10.15	9.46	10.19	10.55	3.51	3.76	7.87	8.39	5.43	9.36

境保护政策的推动，特别是 1998 年国家大力开展退耕还林工程等，鼓励在不宜耕种的土地上退耕还林还草，逐步调整农林牧用地结构，使研究区后 10 a 林地大幅增加；研究区域的农业产业结构调整，20 a 间果园面积持续增加，提高了农业总产值。

1)研究区 20 a 间土地利用变化特征是耕地面积

逐年减少, 从 1990 年的 893.13 km^2 减少到 2010 年 861.88 km^2, 耕地主要转化为草地、林地、建设用地、水域。园地面积逐年增加, 且增加幅度较大, 由 1990 年的 14.54 km^2 增加到 35.76 km^2, 主要由耕地、草地及林地转化而来。

2)研究区土地利用信息图谱以稳定型图谱和后变型图谱为主。稳定型图谱占全区总面积的 86.66%, 后变型图谱占全区总面积的 7.32%, 其他类型图谱面积占比很小。说明研究区土地利用类型图谱变化总体比较平稳, 部分变化也主要发生在 2000—2010 年间。运用地学信息图谱的方法, 分析了研究区土地利用格局及时空演变过程, 揭示了各土地利用类型的转化趋向。

3)研究区 1990—2010 年间土地利用类型分布在地形梯度内呈现一定的层次性。研究区耕地、建设用地及水域在低地形梯度内占优势分布; 草地及林地主要集中分布于中高地形梯度内; 林地和未利用地在高地形梯度内呈现优势分布。研究区的地形梯度分异特征是多因素综合作用的结果, 自然因素是 LUCC 的基础, 社会发展和国家政策是主要驱动力, 本研究为今后该研究区土地资源使用、管理及土地合理规划利用提供理论依据。

参考文献 References

[1] Mooney H A, Duraiappah A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(S1): 3665–3672

[2] Sterling S M, Ducharne A, Polcher J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle[J]. Nature Climate Change, 2013, 3(4): 385–390

[3] Renetzeder C, Schindler S, Peterseil J, et al. Can we measure ecological sustainability? Landscape pattern as an indicator for naturalness and land use intensity at regional, national and European level[J]. Ecological Indicators, 2010, 10(1): 39–48

[4] 刘志强, 潘相文, 金剑, 等. 海伦市资源演化格局与土地利用变化及其生态效应分析[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1): 211–216
Liu Z Q, Pan X W, Jin J, et al. Resource evolution pattern, land use change and related ecological effect in Hailun City[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(1): 211–216

[5] Tian H Q, Chen G S, Zhang C, et al. Century-scale responses of ecosystem carbon storage and flux to multiple environmental changes in the southern United States[J]. Ecosystems, 2012, 15(4): 674–694

[6] 陈志军, 李志忠, 杨清华. 用遥感图像提取土地利用变化信息的特征变异增强方法[J]. 国土资源遥感, 2000(3): 49–52
Chen Z J, Li Z Z, Yang Q H. The method of feature chang enhancement in land user chang using multi-source remote sensing data[J]. Remote Sensing Forland & Resources, 2000(3): 49–52

[7] Jin S M, Yang L M, Danielson P, et al. A comprehensive change detection method for updating the national land cover database to circa 2011[J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 132: 159–175

[8] 冯异星, 罗格平, 周德成, 等. 近 50a 土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响——以新疆玛纳斯河流域为例[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4295–4305
Feng Y X, Luo G P, Zhou D C, et al. Effects of land use change on landscape pattern of a typical arid watershed in the recent 50 years: A case study on Manas River Watershed in Xinjiang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(16): 4295–4305

[9] Chauhan H B, Nayak S. Land use/land cover changes near Hazira region, Gujarat using remote sensing satellite data[J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2005, 33(3): 413–420

[10] 杨静, 庄家尧, 张金池. 基于 RS 和 GIS 的徐州市 20 年间土地利用变化研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2013, 37(2): 85–91
Yang J, Zhuang J Y, Zhang J C. Study on the change of land use in the Xuzhou City based on RS and GIS[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2013, 37(2): 85–91

[11] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3–14
Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 3–14

[12] 黄俊, 申邵洪. 结合高分辨遥感影像和 GIS 数据的土地利用变化监测[J]. 长江科学院院报, 2012, 29(1): 49–52
Huang J, Shen S H. Land use change detection using high spatial resolution remotely sensed image and GIS data[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2012, 29(1): 49–52

[13] 黄勇, 李阳兵, 应弘. 渝宜高速(重庆段)对土地利用变化驱动及景观格局的响应[J]. 自然资源学报, 2015, 30(9): 1449–1460
Huang Y, Li Y B, Ying H. The land use change and landscape pattern response driven by Yu-Yi Expressway (Chongqing Section)[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(9): 1449–1460

[14] 吕志强, 文雅, 孙琤, 等. 珠江口沿岸土地利用变化及其地表热环境遥感分析[J]. 生态环境学报, 2010, 19(8): 1771–1777
Lü Z Q, Wen Y, Sun C, et al. Analysis of land use change and thermal environment in Pearl River Estuary based on remote sensing technology[J]. Ecology and Environment, 2010, 19(8): 1771–1777

[15] 赵冬玲, 杜萌, 杨建宇, 等. 基于 CA-Markov 模型的土地

利用演化模拟预测研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 278–285
Zhao D L, Du M, Yang J Y, et al. Simulation and forecast study of land use change based on CA-Markov model[J]. Transactions of the CSAM, 2016, 47(3): 278–285
[16] 于颂, 王飞红, 杨爱民. 平朔露天煤矿土地利用变化的遥感监测[J]. 测绘通报, 2015, 43(4): 86–90
Yu S, Wang F H, Yang A M. Remote sensing monitoring of land use change in pingshuo open-pit mine[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2015, 43(4): 86–90
[17] 陈红, 吴世新, 冯雪力. 基于遥感和 GIS 的新疆耕地变化及驱动力分析[J]. 自然资源学报, 2010, 25(4): 614–624
Chen H, Wu S X, Feng X L, et al. Study on the changes of cultivated land and the driving factors in Xinjiang: Based on RS and GIS[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(4): 614–624
[18] 买凯乐, 张文辉. 黄土丘陵沟壑区遥感影像信息面向对象分类方法提取[J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 153–158
Mai K L, Zhang W H. Object-oriented classification approach for remote sensing imagery information extraction in loess hilly-gully region[J]. Transactions of the CSAM, 2011, 42(4): 153–158
[19] 黎夏, 叶嘉安. 利用主成分分析改善土地利用变化的遥感监测精度——以珠江三角洲城市用地扩张为例[J]. 遥感学报, 1997, 1(4): 282–289
Li X, Ye J A. Accuracy improvement of land use change detection using principal components analysis: A case study in the Pearl River Delta[J]. Journal of Remote Sensing, 1997, 1(4): 282–289
[20] 山中雪, 曹广超, 赵霞, 等. 2000~2010 年柴达木盆地土地利用变化与景观格局分析[J]. 青海师范大学学报: 自然科学版, 2015(2): 72–78
Shan Z X, Cao G C, Zhao X, et al. Land use change and landscape pattern of Qaidam Basin from year 2000 to 2010[J]. Journal of Qinghai Normal University: Natural Science Edition, 2015(2): 72–78
[21] 王珊珊. 基于 3S 技术的土地利用变化及其景观格局分析[D]. 南京: 南京林业大学, 2011: 30–46
Wang S S. The analysis on landscape pattern of land use and land cover change based on the 3S technology[D]. Nanjing: Nanjing Foresty University, 2011: 30–46
[22] 李苓苓, 王荣华, 李小娟, 等. 县级土地利用变化遥感动态监测及驱动力分析研究——以内蒙古自治区包头市固阳县为例[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2008, 29(4): 46–51
Li L L, Wang R H, Li X J, et al. Research on the county scale land-use change and driving factors — Taking Guyang as the example[J]. Journal of Capital Normal University: Natural Sciences Edition, 2008, 29(4): 46–51
[23] 余敦, 陈文波. 江西省土地利用可持续性评价与时空特征研究[J]. 中国土地科学, 2009, 23(4): 43–47
Yu D, Chen W B. Study on land use of sustainability appraisal and spatiotemporal features in Jiangxi Province[J]. China Land Science, 2009, 23(4): 43–47
[24] 李鹏山, 吕雅慧, 张超, 等. 基于核密度估计的京津冀地区耕地破碎化分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 281–287
Li P S, Lü Y H, Zhang C, et al. Analysis of cultivated land fragmentation in Beijing-Tianjin-Hebei region based on kernel density estimation[J]. Transactions of the CSAM, 2016, 47(5): 281–287
[25] 赵兴国, 潘玉君, 丁生, 等. 中国省域土地利用可持续性评价及时空格局特征[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 196–204
Zhao X G, Pan Y J, Ding S, et al. Evaluation of regional land use sustainability and its spatial-temporal pattern among provinces in China[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(3): 196–204
[26] 徐兰, 罗维, 周宝同. 基于土地利用变化的农牧交错带典型流域生态风险评价——以洋河为例[J]. 自然资源学报, 2015, 30(4): 580–590
Xu L, Luo W, Zhou B T, et al. Landscape ecological risk assessment of farming-pastoral ecozone based on land use change — A case study of the Yanghe Watershed, China[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(4): 580–590
[27] 王思远, 刘纪远, 张增祥, 等. 中国土地利用时空特征分析[J]. 地理学报, 2010, 56(6): 631–639
Wang S Y, Liu J Y, Zhang Z X, et al. Analysis on spatial-temporal features of land use in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 56(6): 631–639
[28] Adhikari S, Southworth J. Simulating forest cover changes of Bannerghatta National Park based on a CA-Markov model: A remote sensing approach[J]. Remote Sensing, 2012, 4(12): 3215–3243
[29] Ye B Y, Bai Z K. Simulating land use/cover changes of Nenjiang County based on CA-Markov model[J]. The International Federation for Information Processing, 2008, 258: 321–329
[30] Gong W F, Yuan L, Fan W Y, et al. Analysis and simulation of land use spatial pattern in Harbin prefecture based on trajectories and cellular automata — Markov modelling[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2015, 34: 207–216
[31] 孙丕苓, 许月卿, 王数. 环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 277–288
Sun P L, Xu Y Q, Wang S. Terrain gradient effect analysis of land use change in poverty area around Beijing and Tianjin[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(14): 277–288
[32] 肖思思, 吴春笃, 储金宇. 1980—2005 年太湖地区土地利用变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23): 1–11
Xiao S S, Wu C D, Chu J Y. Land use changes and driving forces in Tai Lake region from 1980 to 2005[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(23): 1–11
[33] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1411–1420
Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(12): 1411–1420